

⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 30 12 500 A 1**

⑬ Int. Cl. 3:  
G 02 B 5/12

7

DE 30 12 500 A 1

⑬ Aktenzeichen:  
⑭ Anmeldetag:  
⑮ Offenlegungstag:

P 30 12 500.9-51  
31. 3. 80  
8. 10. 81

⑪ Anmelder:  
Erwin Sick GmbH Optik-Elektronik, 7808 Waldkirch, DE

⑬ Erfinder:  
Röß, Dieter, Dipl.-Phys. Dr., 8033 Planegg, DE

⑬ Recherchenergebnis:  
US-Z: IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol. 10, Nr. 3,  
Aug. 1967, S. 267-268;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑬ Retroreflektor

## MANITZ, FINSTERWALD &amp; GRÄMKOW

2.

Erwin Sick GmbH  
 Optik Elektronik  
 Sebastian-Kneipp-Straße 1  
 7808 Waldkirch

DEUTSCHE PATENTANWÄLTE  
 DR. GERHART MANITZ · DIPL.-PHYS.  
 MANFRED FINSTERWALD · DIPL.-ING., DIPL.-WIRTSCH. ING.  
 WERNER GRÄMKOW · DIPL.-ING.  
 DR. HELIANE HEYN · DIPL.-CHEM.  
 HANNS-JORG ROTERMUND · DIPL.-PHYS.

3.

BRITISH CHARTERED PATENT AGENT  
 JAMES G. MORGAN B SC (PHYS). D M S

ZUGELASSENE VERTRETER BEIM EUROPÄISCHEN PATENTAMT  
 REPRESENTATIVES BEFORE THE EUROPEAN PATENT OFFICE  
 MANDATAIRES AGÉES PRÉS L'OFFICE EUROPÉEN DES BREVETS

4.

München, den 31. März 1980  
 S/Co-S 3625

## 5.

## 6.

## 7.

8.

1. Platten- bzw. blattförmiger Retroreflektor mit wenigstens einem retroreflektierenden Element, das wenigstens zwei und voreugsweise drei reflektierende Flächen aufweist, welche unter solchen Winkeln zueinander angeordnet sind, daß ein auf eine der Flächen auftreffender Lichtstrahl gegebenenfalls nach Zwischenreflexion an der zweiten Fläche von der anderen Fläche entgegen der Einfallsrichtung zurückgeworfen wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflexionsflächen durch unter den besagten Winkeln angeordnete Beugungsgitterflächen (11, 12) von räumlich überlagerten Beugungsgittern gebildet sind, wobei die Gitterkonstanten der verwendeten monochromatischen Strahlung angepaßt sind und die Gitterdicke ausreichend gering ist, um die retroreflektierende Eigenschaft innerhalb eines vorbestimmten Flächen- bzw. Raumwinkelbereichs zu erzielen.

13004170313

2. Retroreflektor nach Anspruch 1, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß die Gitter Sinusgitter oder höhere Beugungsordnungen evanescent sind.
3. Retroreflektor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß die Beugungsgitter durch ein Volumenhologramm gebildet sind.
4. Retroreflektor nach Anspruch 3, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß ein Phasenhologramm verwendet wird.
5. Retroreflektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß die Beugungsgitterflächen eben sind.
6. Retroreflektor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß eine dritte Beugungsgitterebene im wesentlichen parallel zur Platten- bzw. Blattebene vorgesehen ist.
7. Retroreflektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß wenigstens eines und vorzugsweise alle Beugungsgitterflächen derart gekrümmt sind, daß eine Fokussierungswirkung erzielt wird.
8. Verfahren zur Herstellung eines Retroreflektors nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß in einem photoempfindlichen Blatt- oder Plattenmaterial wenigstens eine annähernd senkrecht auftreffende ebene Welle mit einer optischen Frequenz mit wenigstens einer im wesentlichen senkrecht dazu verlaufenden ebenen Welle der gleichen optischen Frequenz überlagert wird, und daß wenigstens eine weitere Überlagerung einer der beiden Wellen mit einer dritten, zu ihr gegenläufigen Welle gleicher optischer Frequenz erfolgt, wobei die optische Frequenz bei der zweiten Überlagerung anders als bei der ersten Überlagerung sein kann.

9. Verfahren zur Herstellung eines Retroreflektors nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß in einem photoempfindlichen Blatt- oder Plattenmaterial wenigstens eine annähernd senkrecht auftreffende ebene Welle mit optischer Frequenz mit drei im wesentlichen senkrecht dazu verlaufenden ebenen Wellen der gleichen optischen Frequenz überlagert wird, welche in der senkrecht zu der ersten Welle stehenden Ebene jeweils unter einem Winkel von vorzugsweise  $120^\circ$  zueinander angeordnet sind, wobei die Frequenz der drei in einer Ebene liegenden Wellen unterschiedlich sein kann.
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß die Überlagerung durch inkohärente Addition von zwei Zweistrahlinterferenzen erfolgt.
11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß die Überlagerung durch inkohärente Addition von drei Zweistrahlinterferenzen erfolgt.
12. Verfahren nach Anspruch 8 zur Herstellung eines Retroreflektors nach Anspruch 6, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß die Überlagerung durch kohärente Addition aller drei Wellen erfolgt.
13. Verfahren nach Anspruch 9 zur Herstellung eines Retroreflektors nach Anspruch 6, dadurch ~~gekennzeichnet~~, daß die Überlagerung durch kohärente Addition aller vier Wellen erfolgt.

3012500

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13 zur Herstellung eines Retroreflektors nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß Kugel- oder parabolische Wellen verwendet werden.

130041/0314

Die Erfindung betrifft einen platten- bzw. blattförmigen Retroreflektor mit wenigstens einem retroreflektierenden Element, das wenigstens zwei und vorzugsweise drei reflektierende Flächen aufweist, welche unter solchen Winkeln zueinander angeordnet sind, daß ein auf eine der Flächen auftreffender Lichtstrahl gegebenenfalls nach Zwischenreflexion an der zweiten Fläche von der anderen Fläche entgegen der Einfallsrichtung zurückgeworfen wird.

Bekannte Retroreflektoren weisen retroreflektierende Elemente in Form von Tripelspiegeln (DE-OS 23 01 868), Domlinsen oder Glasperlen (Scotch-Lite) auf. Danach bestehen also die retroreflektierenden Elemente bekannter Retroreflektoren aus einer Kombination von ebenen Spiegeln oder von Linsen mit gekrümmten Spiegeln. Auch ein 90°-Prisma weist in einer Ebene retroreflektierende Eigenschaften auf.

Nachteilig an den bekannten Retroreflektoren ist, daß der einfallende Lichtstrahl parallelversetzt zurückgeworfen wird, daß an den Begrenzungslinien gemeinsamer Elemente tote Zonen entstehen und daß durch die räumliche Tiefe der Elemente das einfallende Bündel bei Neigung vignettiert. Eine hohe Präzision läßt sich bei den bekannten Retroreflektoren nur mit geschliffenen und polierten Glaselementen erreichen. Insbesondere dieses Erfordernis setzt dem Einsatz der bekannten Retroreflektoren aus Kostengründen häufig Grenzen. Beim Einsatz von Retroreflektoren in Lichtvorhängen und Lichtschranken müssen daher aus wirtschaftlichen Gründen gepreßte Elemente aus Kunststoff verwendet werden. Deren Genauigkeit ist aber so gering, daß die erreichbare Meßentfernung zwischen dem den Retroreflektor beaufschlagenden optischen Gerät und dem Retroreflektor um einen Faktor 10 und mehr unter der Meßentfernung liegt, welche sich mit hochwertigen Glas-Retroreflektoren erreichen läßt. Letztere sind aber in der

en  
en  
lek-  
n zu-  
auf-  
lexion  
ier  
  
le-  
stehen  
reflek-  
on  
>ist  
  
ler  
wird,  
Zonen  
e das  
rä-  
mit  
sbe-  
ten  
Ein-  
hran-  
Ele-  
t  
zwi-  
Ge-  
unter  
las-  
der

Herstellung entsprechend aufwendig.

Neben den relativ hohen Kosten für hochwertige Glas-Retroreflektoren ist ein wesentlicher Nachteil ihre räumliche Tiefe, welche umständliche, voluminöse Halterungen erfordert macht.

Das Ziel der Erfindung besteht somit darin, einen Retroreflektor der eingangs genannten Gattung zu schaffen, welcher auch in Massenproduktion auf sehr wirtschaftliche Weise herstellbar ist, gleichwohl aber eine hohe Genauigkeit aufweist und relativ dünn ausgebildet sein kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung vor, daß die Reflexionsflächen durch unter den besagten Winkeln angeordnete Beugungsgitterflächen von räumlich überlagerten Beugungsgittern gebildet sind, wobei die Gitterkonstanten der verwendeten monochromatischen Strahlung angepaßt sind. Die Gitter sollen dabei insbesondere Sinusgitter oder die höheren Beugungsordnungen sollen evanescent sein. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Beugungsgitter durch ein Volumenhologramm gebildet sind und letzteres ein Phasenhologramm ist.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß die für einen Retroreflektor notwendige Kombination mehrerer aufeinanderfolgender Lichtablenkungen an ebenen oder gekrümmten Flächen durch Beugung an Gittern verwirklicht werden kann, wenn die auf den Retroreflektor auftreffende Strahlung im wesentlichen monochromatisch ist. Dies ist heute bei allen industriellen Anlagen, in denen mit Retroreflektoren gearbeitet wird, und bei Lichtschranken im allgemeinen der Fall, denn als Lichtquellen werden hier Laser oder lichtemittierende Dioden (LED) verwendet.

Ein besonderer Vorteil der Verwendung von räumlich ineinander verschachtelten Beugungsgittern besteht darin, daß die Ablenkung an den einzelnen Gitterebenen nicht notwendig unter  $90^\circ$  erfolgen muß, weil an Beugungsgitterebenen nicht unbedingt eine Reflexion unter spiegelnden Reflexionswinkeln erfolgen muß, obwohl dies bevorzugt ist. Im praktischen Fall wählt man also eine symmetrische Anordnung der Beugungsgitterebenen unter  $90^\circ$  mit gleicher Gitterkonstante für beide Gitter. Ein solches Raumgitter kann man sich vorstellen als eine Summe von ineinander verschachtelten  $90^\circ$ -Prismen, von denen jedes nur Abmessungen im Bereich weniger optischer Wellenlängen hat. Das hat den Vorteil, daß der so realisierte Retroreflektor eine verschwindend geringe Tiefeabmessung hat, und zwar im Fall von dichromatisierter Gelatine als Hologramm-Material von nur beispielsweise 5 bis 20  $\mu\text{m}$ . Weiter weist ein erfindungsgemäßer Retroreflektor keine toten Zonen auf. Der Seitenversatz der reflektierten Strahlen ist so minimal, daß er nicht meßbar ist.

Besonders vorteilhaft ist es, daß die Raumgitter so zur Oberfläche des sie tragenden Trägers angeordnet werden können, daß im Arbeitsbereich die Reflexion der Oberfläche nicht im Retroreflexionsbereich liegt.

Die Verwendung von Sinusgittern als Beugungsgitter ist deswegen vorteilhaft, weil dann störende Nebenmaxima der Beugung vermieden werden. Man kann die Nebenmaxima aber auch dadurch unterdrücken, daß die Gitterkonstante so gewählt wird, daß höhere Beugungsordnungen evanescent werden. Dies bedeutet, daß die entsprechenden höheren Beugungsanordnungen durch geeignete große Ablenkwinkel zum Abklingen gebracht werden. Die Sinusform der Schwärzung bzw. des Brechungsindex ist bei Hologrammen im allgemeinen gegeben.

ein-  
3  
wendig  
nicht  
winkeln  
im Fall  
sgit-  
seide  
n  
nen,  
ischer  
isier-  
essung  
Hologramm-  
r weist  
auf.  
nimal,

· Ober-  
ien,  
it

des-  
Beu-  
ch  
t wird,  
deutet.  
h ge-  
. Die  
i Holo-

Sofern nach einer bevorzugten Ausführungsform die Beugungsgitterflächen eben sind, wird ein klassischer Retroreflektor erzielt.

Es ist jedoch auch möglich, eine dritte Beugungsgitterebene im wesentlichen parallel zur Ebene des Retroreflektors vorzuschen, wodurch dieser zusätzlich die Eigenschaften eines normalen Spiegels erhält. Diese Doppelfunktion des Retroreflektors kann in manchen Anwendungen von Vorteil sein.

Weiter ist es aufgrund der erfindungsgemäßen Ausbildung ohne weiteres möglich, daß wenigstens eines und vorzugsweise alle Beugungsgitterflächen derart gekrümmt sind, daß eine Fokussierungswirkung erzielt wird. Hier kann man also ebenfalls gegenüber klassischen Retroreflektoren eine weitere Funktion erzielen, die bei den bekannten Retroreflektoren nicht verwirklicht werden kann.

Die Herstellung eines nur in einer Ebene wirksamen Retroreflektors gemäß der Erfindung erfolgt zweckmäßigerweise dadurch, daß in einem photoempfindlichen Blatt- oder Plattenmaterial wenigstens eine annähernd senkrecht auftreffende Ebene Welle mit einer optischen Frequenz mit wenigstens einer im wesentlichen senkrecht dazu verlaufenden ebenen Welle der gleichen optischen Frequenz überlagert wird, und daß wenigstens eine weitere Überlagerung einer der beiden Wellen mit einer dritten, zu ihr gegenläufigen Welle gleicher optischer Frequenz erfolgt, wobei die optische Frequenz bei der zweiten Überlagerung anders als bei der ersten Überlagerung sein kann.

Ein einem Tripelspiegel entsprechender, nicht nur in einer Ebene wirksamer Retroreflektor kann erfindungsgemäß vorzugsweise dadurch hergestellt werden, daß in einem photoempfindlichen Blatt- oder Plattenmaterial wenigstens eine annähernd senkrecht auftreffende Ebene Welle mit optischer Frequenz mit drei im wesentlichen senkrecht dazu verlaufenden ebenen

Wellen der gleichen optischen Frequenz überlagert wird, welche in der senkrecht zu der ersten Welle stehenden Ebene jeweils unter einem Winkel von vorzugsweise  $120^\circ$  zueinander angeordnet sind, wobei die Frequenz der drei in einer Ebene liegenden Wellen unterschiedlich sein kann.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Überlagerung durch inkohärente Addition von zwei bzw. drei Zweistrahlinterferenzen erfolgt. Bei kohärenter Addition entsteht nämlich zusätzlich ein drittes Raumgitter, welches die Funktion eines normalen reflektierenden Spiegels besitzt. In besonderen Anwendungsfällen kann es von Nutzen sein, eine Vorzugsrichtung in dieser Weise optisch ablesbar zu markieren.

Um dem Retroreflektor auch noch fokussierende Eigenschaften zu verleihen, brauchen bei seiner Herstellung nur entsprechend Kugel- oder parabolische Wellen, bzw. bei einem nur in einer Ebene wirksamen Retroreflektor Zylinderwellen verwendet zu werden. Da in diesem Fall ein bestimmter Fokusabstand eingehalten werden muß, ist es im allgemeinen nicht möglich, alle Funktionen in einer Ebene zu überlagern; vielmehr muß man die Anordnung aus zwei Hologrammen oder aus einem Hologramm und einem Spiegel aufbauen.

Ein Hologramm wird bekanntlich in einem photoempfindlichen Blattmaterial dadurch hergestellt, daß eine Referenzwelle mit einer zu ihr kohärenten Objektwelle unter einem bestimmten Winkel zum Schnitt gebracht wird. Die an der Schnittstelle auftretenden Interferenzen werden in dem an dieser Stelle angeordneten photoempfindlichen Material als Hologramm aufgezeichnet. Bei Beleuchtung des Hologramms mit der Referenzwelle wird die Objektwelle reproduziert (DE-OS 80 04 312 und 80 04 313).

Der Grundgedanke der vorliegenden Erfindung besteht also darin, daß zur Herstellung eines nur in einer Ebene wirksamen Retroreflektors in einem photoempfindlichen Material zwei Hologramme überlagert werden, derart, daß beim Gebrauch die Objektwelle des ersten Hologramms gleichzeitig die Referenzwelle für das zweite Hologramm ist. Die erste Referenzwelle und die zweite Objektwelle sind in der für einen Retroreflektor erforderlichen Weise entgegengerichtet. Bei der Herstellung eines erfundungsgemäßen überlagerten Hologramms muß also nur darauf geachtet werden, daß die erste Referenzwelle und die zweite Objektwelle einander entgegengerichtet sind. Der Verlauf der ersten Objektwelle bzw. zweiten Referenzwelle innerhalb des Hologramms ist dagegen in weiten Grenzen unkritisch, da sich diese Vorgänge im Inneren des Hologrammmaterials abspielen.

Bei einem für innerhalb eines Raumwinkels auftreffende Strahlen geeigneten, also räumlich wirksamen Retroreflektor durch Überlagerung dreier Hologramme entspricht beim Gebrauch die erste Objektwelle der zweiten Referenzwelle und die zweite Objektwelle der dritten Referenzwelle, welche alle innerhalb des transparenten Hologrammmaterials verlaufen. Die dritte Objektwelle ist dann der ersten Referenzwelle entgegengerichtet.

Jedes Paar Referenzwelle-Objektwelle kann bei der Aufnahme allerdings eine unterschiedliche optische Frequenz haben, was sich jedoch nur auf die Größe des Ablenkwinkels der schließlich beim Gebrauch verwendeten monochromatischen Strahlung auswirkt.

Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung ist darin zu sehen, daß die holographisch hergestellten Mehrfachraumgitter eine retroreflektierende Eigenschaft auch dann aufweisen, wenn die Rekonstruktion außerhalb der exakten geometrischen Anordnung erfolgt, d.h., wenn der Referenzstrahl bei der Rekonstruktion gegenüber dem Referenzstrahl bei der Aufnahme eine Winkeländerung

au  
ni  
gi  
El  
Wi  
Di  
br  
en  
ga  
hc  
pi  
te  
ge  
st  
D  
te  
ct  
ge  
li  
w  
B  
s  
s  
c  
D  
Z  
F

aufweisen darf und dennoch Retroreflexion erfolgt. Es ist eine wesentliche Erkenntnis, daß durch geeignete Dickenwahl des Beugungsgitters eine retroreflektierende Ablenkung in der erfindungsgemäßen Anordnung stattfindet. Der Toleranzbereich der Winkelabweichung und damit der praktische Einsatzbereich des Retroreflektors wird durch den Toleranzbereich der Bragg-Bedingung beim Raumgitter vorgegeben. Er ist damit in weiten Grenzen willkürlich einstellbar. Um einen großen Winkelbereich zu erhalten, ist es vorteilhaft, das Hologramm dünn, d.h. in einer Dicke von wenigen Lichtwellenlängen zu gestalten. Damit der Rekonstruktionswirkungsgrad dann noch hoch genug ist, muß das Material eine hohe Brechungsindexmodulation aufweisen (bevorzugt ist z.B. dichromatisierte Gelatine). Ein schmaler Toleranzbereich lässt sich mit einem sehr dicken Hologramm von beispielsweise 30 bis 50  $\mu\text{m}$  Dicke bei geringer Brechungsindexmodulation erreichen.

In bekannter Weise kann die zunächst monochromatische Eigenschaft breitbandig gestaltet werden, wenn Raumgitter bei mehreren Lichtwellenlängen verwendet werden (Weißlichthologramm). Dies gelingt z.B. dadurch, daß bei der Aufnahme ein Laser mit mehreren Wellenlängen verwendet wird.

Da je nach der Dicke des Hologramms nur Winkel innerhalb mehr oder weniger großer Winkelbereiche beim Auftreffen auf dem erfindungsgemäßen Retroreflektor in sich selbst zurückreflektiert werden, kann in vorteilhafter Weise durch entsprechende Begrenzung dieses Winkelbereiches mittels eines entsprechend dick ausgebildeten Hologramms auch eine gewisse Winkelselection verwirklicht werden, etwa dergestalt, daß nur innerhalb eines bestimmten Winkelbereiches auf den Retroreflektor auftreffende Strahler in sich selbst zurückreflektiert werden,

außerhalb dieses Winkelbereiches liegende Strahlen dagegen nicht. Hierdurch könnte z.B. die Winkelauflösung von Lichtgittern verbessert werden, indem die einzelnen optischen Elemente des Lichtgitters hinsichtlich des von ihnen erfaßten Winkelbereiches begrenzt werden können.

Die Herstellung der erfindungsgemäßen Retroreflektoren braucht nicht dadurch zu erfolgen, daß jeweils ein photoempfindliches Material in den überlagerten Originalstrahlenang gebracht wird. Vielmehr können Teilwellen auf Mutterhologrammen festgehalten werden und von diesen in einem Kopierprozeß in an sich bekannter Weise unter stark vereinfachten Bedingungen übertragen werden, so daß der erfindungsgemäße Retroreflektor als preiswertes Massenerzeugnis herstellbar ist.

Die Verwendung eines Hologramms als Retroreflektor hat weiter den wesentlichen Vorteil, daß eine geringfügige Abweichung von der exakten Ausrichtung der Teilstrahlen in vorgegebener Weise erreicht werden kann, so daß die Rückstrahlung von der genauen Retroreflexion um vorbestimmte Winkelwerte abweichen kann.

Besonders vorteilhaft wird als Hologrammmaterial dichromatisierte Gelatine verwendet. Die Gelatineschicht soll beidseitig durch eine dielektrische Schicht, vorzugsweise Glas oder Plastikmaterial geschützt sein.

Die Erfindung wird im folgenden beispielsweise anhand der Zeichnung beschrieben; in dieser zeigt

Figur 1 einen schematischen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Retroreflektor zur Veranschaulichung von dessen Funktion,

Figur 2 eine schematische Wiedergabe des bevorzugten Herstellungsverfahrens für ein erfindungsgemäßes Hologramm und

Figur 3 eine schematische Draufsicht des Gegenstandes der Fig. 2 bei Beaufschlagung mit drei unter  $120^\circ$  angeordneten Wellen.

Nach Fig. 1 sind zwei Raumgitter mit den Gitterebenen 11, 12 unter einem Winkel von  $90^\circ$  zueinander und unter einem Winkel von  $45^\circ$  zum senkrecht auf das Hologramm 14 auftreffenden Eingangslichtstrahl 15 angeordnet. Der einfallende Lichtstrahl 15 erfährt an jeder der Gitterebenen 11, 12 eine Teilreflexion. Die Addition mehrerer Teilreflexionen führt zu Ausgangsstrahlen 16, 16', 16", welche zum Eingangsstrahl 15 exakt gegenläufig sind. Nachdem die seitlichen Versetzungen der Ausgangsstrahlen 16, 16', 16" sich in der Größenordnung von Lichtwellenlängen bewegen, liegt also praktisch ein einziger Ausgangsstrahl vor, der durch die Zusammenfassung der Strahlen 16, 16', 16" gebildet ist. Da die im Bereich der Lichtwellenlänge vorkommenden seitlichen Versetzungen symmetrisch zu beiden Seiten des Einfallsstrahls 15 vorliegen, liegt also im Mittel überhaupt keine Versetzung zwischen Eingangs- und Ausgangsstrahl vor.

Da der Wirkungsgrad der Reflexion an einer einzelnen Gitterebene z.B. für dichromatisierte Gelatine über 30 % betragen kann, wird bereits bei einer Tiefe von wenigen Wellenlängen eine nahezu 100prozentige Umwandlung erreicht. Der Wirkungsgrad des erfindungsgemäßen Retroreflektors kann also außerordentlich hoch getrieben werden.

An sich entstehen bei der Rekonstruktion innerhalb des Hologramms 14 auch Wellen, die in Richtung des Ursprungsstrahls

15 oder unter  $90^\circ$  dazu verlaufen und die theoretisch verlo-  
rengehen könnten. Wenn man aber erfindungsgemäß das Holo-  
gramm so ausführt, daß es annähernd senkrecht zum einfal-  
lenden Lichtstrahl liegt, so ist der Lichtweg in der Ebene  
des Hologramms bis zum Verlassen desselben für einen um  
 $90^\circ$  abgelenkten Lichtstrahl wesentlich größer als der Weg  
in entgegengesetzter Richtung, so daß alle zunächst unter  
 $90^\circ$  abgelenkten Strahlen wiederum in den gegenläufigen  
Strahl umgewandelt werden. Entsprechendes geschieht mit  
solchen Strahlen, die parallel zum einfallenden Lichtstrahl  
15 rekonstruiert werden, wenn das Hologramm relativ dick ist.  
Mit anderen Worten wird der einfallende Lichtstrahl 15 beim  
Eintreten in das Hologramm 14 zwar in allen vier senkrecht  
aufeinanderstehenden Richtungen reproduziert, wobei jedoch  
eine Richtung, nämlich die gegenläufige (Teilstrahlen 16,  
16', 16'') bevorzugt ist, indem diese Wellen schon nach zwei  
oder nur ganz wenigen Reflexionen wieder aus der Oberfläche  
des blattförmigen Hologrammmaterials 14 austreten.

Nach Fig. 2 ist ein das spätere Hologramm 14 bildendes  
photoempfindliches, durchsichtiges Blatt- oder Platten-  
material unter einem geringfügigen Winkel von beispiels-  
weise  $10^\circ$  zur Ebene der Wellen einer Eingangs- oder Re-  
ferenzwelle 1-1 angeordnet. Senkrecht zur ebenen Welle 1-1  
wird eine dazu kohärente Welle 2-2 gleicher Frequenz in  
das Photomaterial eingestrahlt. Das sich aus der Überlage-  
rung der Wellen 1-1 und 2-2 ergebende Interferenzmuster  
wird im photoempfindlichen Material latent aufgezeichnet.  
Aufgrund der in Fig. 2 dargestellten Anordnung wird also  
in dem Photomaterial 14 latent ein Interferenzfeld aufge-  
zeichnet, das aus Ebenen besteht, die im wesentlichen unter  
einem Winkel von  $45^\circ$  zur ebenen Eingangswelle 1-1 stehen.

In einer zweiten Aufnahme wird dann der ebenen Welle 1-1 eine dazu kohärente ebene Lichtwelle 3-3 überlagert, welche gegenläufig zur ebenen Welle 2-2 ist. Die hierbei entstehenden Interferenzebenen 11 sind unter einem Winkel von  $90^\circ$  zu den erstgenannten Ebenen 12 angeordnet. Bei der zweiten Aufnahme kann auch zweckmäßig eine andere Frequenz benutzt werden, was unter Berücksichtigung der beim späteren Gebrauch verwendeten monochromatischen Strahlung jedoch bei der Winkelwahl zu berücksichtigen ist.

Wahlweise könnte man auch die ebenen Lichtwellen 1-1 mit 2-2 und anschließend 2-2 mit einer zur ebenen Welle 1-1 gegenläufigen Welle 4-4 überlagern.

Wenn die beiden Aufnahmen nacheinander oder gleichzeitig, aber mit etwas unterschiedlichen Frequenzen erfolgen, spricht man von inkohärenter Addition.

Bei gleichzeitiger Aufnahme der Interferenzen der ebenen Wellen 1-1, 2-2 und 3-3 gleicher Frequenz entstehen zusätzliche Interferenzebenen senkrecht zu der ebenen Welle 2-2. Bei gleichzeitiger Aufnahme der Überlagerung der ebenen Wellen 1-1, 2-2 und 4-4 entstehen zusätzliche Interferenzebenen senkrecht zur Welle 1-1. In beiden Fällen enthält dann das spätere Hologramm 14 zusätzlich zur  $90^\circ$ -Prismenfunktion eine Spiegelfunktion. Man spricht hier von einer kohärenten Addition.

Während die Fig. 1 und 2 aus Gründen der einfacheren Darstellung nur die Herstellung eines in einer Ebene wirksamen Retroreflektors zeigen, ist nach dem Vorangesagten klar, daß zur Herstellung eines räumlich wirksamen Retroreflektors nach Art eines Tripelspiegels drei Teilinterferenzen aus

je zwei Teilwellen zu überlagern sind, wobei drei der Teilwellen im Winkel von  $120^\circ$  zueinander stehen.

Die ebene Eingangswelle 1-1 wäre also mit senkrecht dazu verlaufenden ebenen Wellen 2-2 oder 3-3 (Fig. 2) zu überlagern, wobei nach Fig. 3 in der zur Welle 1-1 senkrechten Ebene drei Teilwellen 2-2, 2'-2' und 2"-2" unter Winkeln von jeweils  $120^\circ$  zueinander vorzusehen wären. Die Aufnahmen mit den Wellenpaaren 1-1/2-2, 1-1/2'-2' bzw. 1-1/2"-2" können wieder kohärent sein, werden vorzugsweise jedoch inkohärent durchgeführt, um einen reinen Retroreflektor zu erzielen.

Bei der Herstellung von retroreflektierenden Elementen mit fokussierenden Flächen sind bei der Herstellung der Hologramme Kugelwellen oder parabolische Wellen zu verwenden. Da in diesem Fall ein bestimmter Fokusabstand eingehalten werden muß, ist es im allgemeinen nicht möglich, alle Funktionen in einer Ebene zu überlagern; vielmehr muß man die Anordnung aus zwei Hologrammen oder aus einem Hologramm und einem Spiegel aufbauen.

Bei der Herstellung der Hologramme wird erfindungsgemäß das dünne Aufzeichnungsmaterial auf einem stabilen Trägermaterial aufgebracht und seine Oberfläche durch eine Schutzschicht vor Umgebungseinflüssen geschützt. Besonders geeignet ist eine Einbettung des Hologramms zwischen zwei Glasscheiben. Die Oberfläche der Schutzschicht kann man vorteilhaft vergüten, um Reflexionsverluste zu vermeiden.

3012500

3625

Nummer:

30 12 500

Int. Cl.<sup>3</sup>:

G 02 B 5/12

Anmeldetag:

31. März 1980

Offenlegungstag:

8. Oktober 1981

FIG. 1

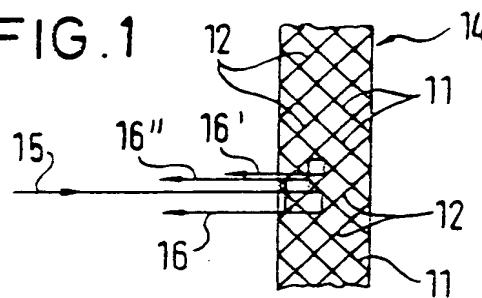


FIG. 2

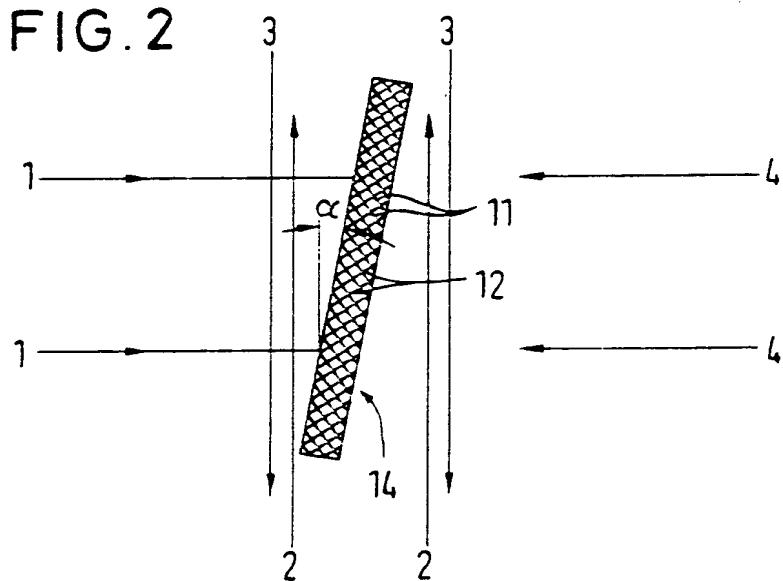
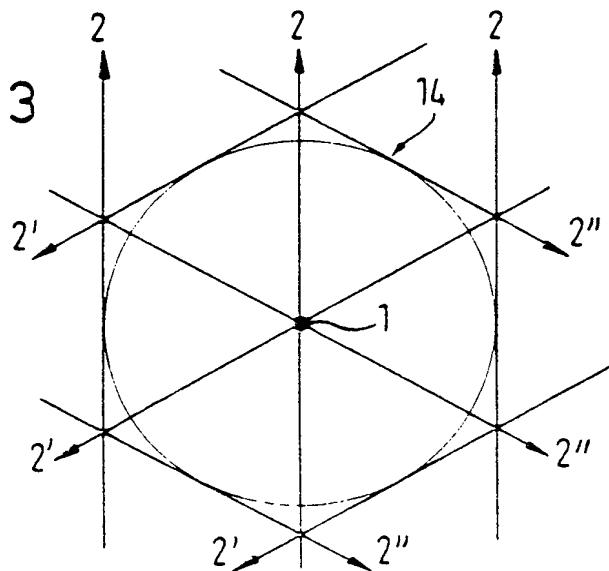


FIG. 3



130041/0314